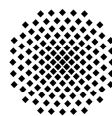


Institut für Energiespeicherung
Prof. Dr. André Thess



Universität Stuttgart

Studienarbeit

Thermomanagement von Lithium-Ionen Batterien für Flugzeuganwendungen

**Thermomanagement of lithium-ion batteries for
flight applications**

von

Dominik Schäfer

Ausgabe der Arbeit: 15.12.2016

Abgabe der Arbeit: 14.06.2017

Betreuer: Dipl.-Ing. Andre Suchaneck
Dipl.-Ing. Steffen Flade

Zusammenfassung des Inhalts

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse und Optimierung des thermischen Verhaltens des Batteriesystems eines 4-sitzigen Flugzeuges mit einem Brennstoffzellen-Hybridantrieb. Das untersuchte Batteriesystem mit einer Gesamtkapazität von 22,2 kWh setzt sich aus zwei separaten, seriell verschalteten Batteriepacks zusammen, welche jeweils aus 40 ebenfalls seriell verschalteten 75 Ah NMC Hochenergie Pouch-Zellen bestehen. Der Hybridantrieb ist so ausgelegt, dass für einen Steigflug eine Leistungsabgabe der Batterie notwendig ist. Die für den Horizontalflug benötigte Leistung kann jedoch vollständig von der Brennstoffzelle bereitgestellt werden. Die maximale Steighöhe des Flugzeuges ohne Wiederaufladung der Batterie ist somit durch die Batteriekapazität begrenzt.

Mit Hilfe von Messungen im Batterielabor wurde zunächst das thermische und elektrische Verhalten einer Einzelzelle untersucht. Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein einfaches, schnell laufendes elektro-thermisches Simulationsmodell der Pouch-Zelle entwickelt. Die Güte des erstellten Simulationsmodells wurde anschließend anhand der Messungen überprüft. Die Validierung zeigte, dass das Modell und die verwendeten Parameterwerte das thermische Verhalten einer Einzelzelle mit einer hohen Genauigkeit für die in dieser Arbeit relevanten CC-Entladungen mit einer Stromstärke von 75 – 200 A wiedergeben kann.

Dieses elektro-thermische Batteriemodell einer einzelnen Pouch-Zelle wurde bei der Erstellung eines Simulationsmodells für einen gesamten Batteriepack wiederverwendet. Die thermischen Randbedingungen der einzelnen Zellen im Batteriepack wurden anhand dem Ist-Zustand des Batteriepacks in einem Pseudo-3D Equivalent Circuit Modell abgebildet. Der Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen und den aufgezeichneten Messgrößen während eines Testfluges zeigt, dass das erstellte Modell bei Vorgabe des Entladestromes in der Lage ist, den Zellspannungs- und Zelltemperaturverlauf korrekt vorherzusagen.

Anhand eines repräsentativen Lastprofils für die Batterie konnte gezeigt werden, dass bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C und einer maximal zulässigen Batterietemperatur von 50 °C lediglich 32 % der maximalen Steighöhe erreicht werden können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Batteriesystem bislang mit keiner aktiven Kühlung ausgestattet ist und sich deshalb schnell aufheizt. Eine erste Analyse zeigte, dass zur Erreichung der maximalen Steighöhe unter Berücksichtigung der zulässigen Batterietemperatur eine Kühlleistung von mindestens 1,5 kW pro Batteriepack benötigt wird.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der Beantwortung der Fragestellung, inwieweit sich diese Limitierung der Steighöhe aufgrund der Batterietemperatur durch die Integration einer aktiven Kühlung auflösen lässt und welcher Aufwand (Gewicht, Bauraum, Leistung für Hilfsaggregate) dafür nötig ist. Es wurde vorab entschieden, dass eine aktive Luftkühlung und eine spezielle Wasserkühlungsvariante untersucht werden sollen.

Um die Potentiale einer aktiven Luftkühlung, bei welcher an der einen Seite des Batteriepacks die Luft einströmt, zwischen den Zellen hindurchströmt und auf der anderen

Seit den Batteriepack wieder verlässt, untersuchen zu können, wurde das erstellte Simulationsmodell des Ist-Zustandes des Batteriepacks entsprechend erweitert. Mit Hilfe von Parametervariationen wurde analysiert, inwieweit sich der Abstand zwischen den Zellen und der Kühlluftvolumenstrom auf die Kühlleistung und den Aufwand auswirken. Eine gefundene gute Lösung konnte als guter Kompromiss zwischen Aufwand und Nutzen identifiziert werden. Damit konnte bei einem Zusatzgewicht von 4 kg kann die erzielbare Steighöhe auf 90 % des Maximalwertes gesteigert werden.

Bei der Wasserkühlung sollte eine Konfiguration untersucht werden, bei welcher dünne Aluminium-Kühlbleche zwischen die Pouch-Zellen geklemmt werden, welche wiederum mit zwei wasserdurchströmten Kühlplatten, die seitlich entlang des Batteriepacks angebracht sind, verbunden sind. Das aufgewärmte Kühlwasser aus beiden Batteriepacks wird in einem gemeinsamen Wasser/Luft-Wärmetauscher wieder abgekühlt. Mit dem erstellten Simulationsmodell wurde ebenfalls eine Parametervariation durchgeführt. Dabei wurde der Luft- und Wasservolumenstrom sowie die Dicke der Kühlrippen zwischen den Zellen innerhalb von sinnvollen Grenzen verändert. Die gewählte Parameterkombination erzielt ein gutes Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen. Mit dieser Kühlvariante kann die erzielbare Steighöhe bei einem Zusatzgewicht von insgesamt 17 kg auf 85 % des Maximalwertes gesteigert werden.

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass durch die Integration einer aktiven Kühlung in das Batteriesystem des Kleinflugzeuges die Steighöhe mit einem vertretbaren Aufwand von 32 % auf 90 % der maximal erreichbaren Steighöhe gesteigert werden kann. Bei der Luftkühlung ist die benötigte Leistung für die Hilfsaggregate zwar etwas mehr als dreimal so hoch wie bei der untersuchten Wasserkühlungsvariante, das Zusatzgewicht beträgt dafür weniger als ein Viertel der Wasserkühlung und auch die erzielbare Steighöhe ist etwas besser. Aus diesem Grund ist für diese Anwendung die Luftkühlung gegenüber der untersuchten Wasserkühlungsvariante zu bevorzugen.